PASİF SİSMİK YÖNTEMLER İLE ERZİNCAN'DA İKİ BOYUTLU HIZ MODELİ

F.N. Şişman[1], A. Askan[2] ve M. Asten[3]

[1] *Araştırma Görevlisi, Mühendislik Bilimleri Bölümü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara*
[2] *Doçent Doktor, İnşaat Müh. Bölümü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara*
[3] *Profesör, Yerbilimleri Bölümü, Monash Üniversitesi, Victoria, Avustralya*
Email: f.nurtensisman@gmail.com

ÖZET:

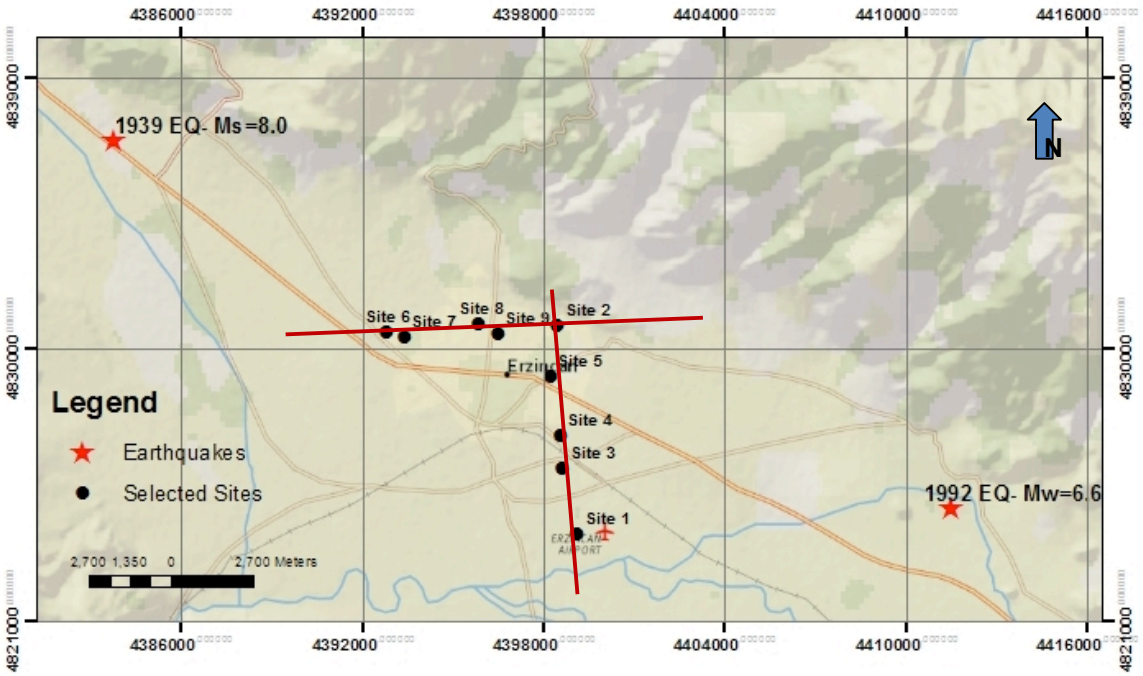
Zeminlerin dinamik özelliklerinin belirlenmesi, depremlerin kentsel alanlarda meydana getirdiği tahribatı ve sismik kayıpları azaltmak açısından oldukça önem taşımaktadır. Bu çalışmada, 1939 (Ms=8.0) ve 1992 (Mw= 6.6) depremlerinde çok sayıda can ve mal kaybının meydana geldiği Erzincan şehir merkezinde seçilen sahalarda zeminlerin dinamik özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Alüvyon zemin üzerinde kurulu olan ve bir basen yapısı içerisinde yeralan bu şehir, aktif faylar ile çevrili bir bölgede yer almaktadır. Bu çalışmada seçilen sahalarda S-dalga hız yapısı ve zemin hakim frekansını belirlemek amacıyla iki farklı yöntem kullanılmıştır. Öncelikle, şehir merkezinde Kuzey-Güney ve Doğu-Batı doğrultusunda seçilen farklı sahalarda mikrotremor kayıtları alınmış ve bu kayıtlar Çoklu-mod Uzaysal Otokorelasyon (MMSPAC) yöntemi ile analiz edilmiştir. Böylece MMSPAC yöntemi ile, yüzey dalgası dispersiyon eğrisi ters çözümlerine dayanarak, Erzincan şehir merkezine ait iki boyutlu kesme dalgası hız modeli oluşturulmuştur. Elde edilen iki boyutlu hız modeli, ileride dalga yayılımı içeren bir çok çalışmada kullanılabilecektir.

Aynı sahalarda mikrotremor Yatay/Düşey (H/V) spekral oran eğrileri de elde edilmiştir. Daha sonra mikrotremor analizinden elde edilen hız profilleri kullanılarak bir boyutlu zemin tepki analizi yapılmış ve sunulan alternatif yöntemlerden elde edilen zemin hakim frekans değerleri ve zemin büyütme faktörleri karşılaştırılmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: Mikrotremor, Çoklu-Mod Uzaysal Otokorelasyon (MMSPAC) yöntemi, zemin hakim frekansı, Erzincan.

1. GİRİŞ

Sert anakayanın üzerinde yer alan yumuşak zeminler, yer hareketini büyüterek ağır yapı hasarlarına neden olabilirler. Depremlerin oluşturduğu yapı hasarlarının azaltılması amaçlarıyla, zemin hakim periyodu, büyütme faktörü ve zemin sınıfı gibi dinamik zemin özelliklerinin belirlenmesi çalışmaları kritik önem taşımaktadır. Dinamik zemin özelliklerinin belirlenmesi probleminde temel adım, zemin tabakalarının dalga hızlarının belirlenmesidir. Bu amaçla, literatürde yaygın olarak kullanılan yöntemlerden birisi aktif veya pasif kaynaklı yüzey dalgası ters-çözüm yöntemidir. (Ör.: Rosenblad vd., 2006; Claprood ve Asten, 2009). Bu çalışmada da, pasif-kaynaklı (doğada varolan titreşimleri kullanan) MMSPAC yöntemi kullanılmış; Erzincan ilinde 9 ayrı sahada mikrotremor ölçümleri yapılmıştır (Şekil 1). Bu 9 saha, Doğu- Batı ve Kuzey –Güney doğrultularında 2-B hız profilli oluşturacak şekilde seçilmiştir. Yer kısıtlamasından ötürü, bu bildiride yalnızca Saha 1, Saha 2 ve Saha 3 'e ait mikrotremor çalışması sonuçları sunulacaktır.



Şekil 1. Erzincan il merkezinde zemin araştırmaları gerçekleştirilen sahaların Doğu- Batı ve Kuzey –Güney doğrultularındaki konumları belirtilmiştir. (Ayrıca kırmızı yıldızlar ile 1939 ve 1992 Erzincan depremlerinin dışmerkez konumları belirtilmiştir.)

2. YÖNTEM

Bu bölümde, bu çalışmada kullanılan MMSPAC yöntemi ve uygulamalarından elde edilen sonuçlar kısaca sunulmuştur.

2.1. Çoklu-Mod Uzaysal Otokorelasyon (MMSPAC) Yöntemi

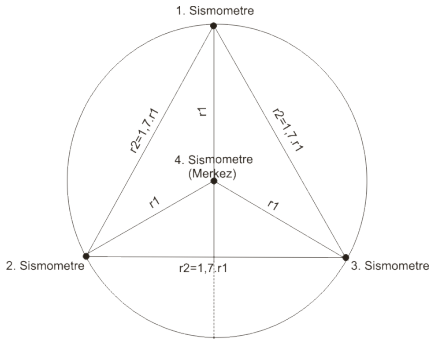
Son yıllarda dünyada yaygın olarak kullanılmaya başlanmış olan SPAC yöntemi temel olarak mikrotremorlerin uzay ve zaman durağanlığı özelliklerini kullanarak alıcı (istasyon) çiftleri arasındaki uyumluluğun değerlendirilmesi esasına dayanır. Denklem 1'de yer alan parametrelerden "*r*" istasyon çiftleri arasındaki mesafeyi, *c(f)*, Rayleigh dalgalarının herhangi bir "*f* " frekansındaki SPAC katsayısını, *v(f)* ise sıfırıncı dereceden birinci cins Bessel fonksiyonunu ifade etmektedir. SPAC yönteminde, dairesel dizilimli alıcılarda kaydedilen düşey mikrotremor kayıtları, her bir frekansa karşılık gelen faz hızı değerleri ile dispersiyon eğrisi elde etmek amacıyla kullanılmaktadır. Bu dispersiyon eğrisinin ters çözümü ile tek boyutlu S-dalga hızı profilleri hesaplanmaktadır (Claprood ve Asten, 2009):

$$c(f) = J_0\left(\frac{2\pi f r}{v(f)}\right) \quad (1)$$

Bu çalışmada ise geleneksel SPAC yönteminden farklı olarak, çoklu-modlar için geliştirilmiş MMSPAC (multi-mode SPAC) yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde, birden fazla "*r*" istasyon-arası mesafesinde uyumlulukları hesaplanır ve yüksek modlardaki yüzey dalgalarına ait frekans bantları da çözülebilmektedir. Ayrıca sadece düşey eksende değil 3-eksenli ölçümler de alınmakta ve dairesel olmayan dizilimler kullanılmaktadır. (Asten ve Boore, 2005; Asten, 2006; Chavez-Garcia vd., 2006). Dairesel olmayan dizilimler, yüksek modların faz hızına

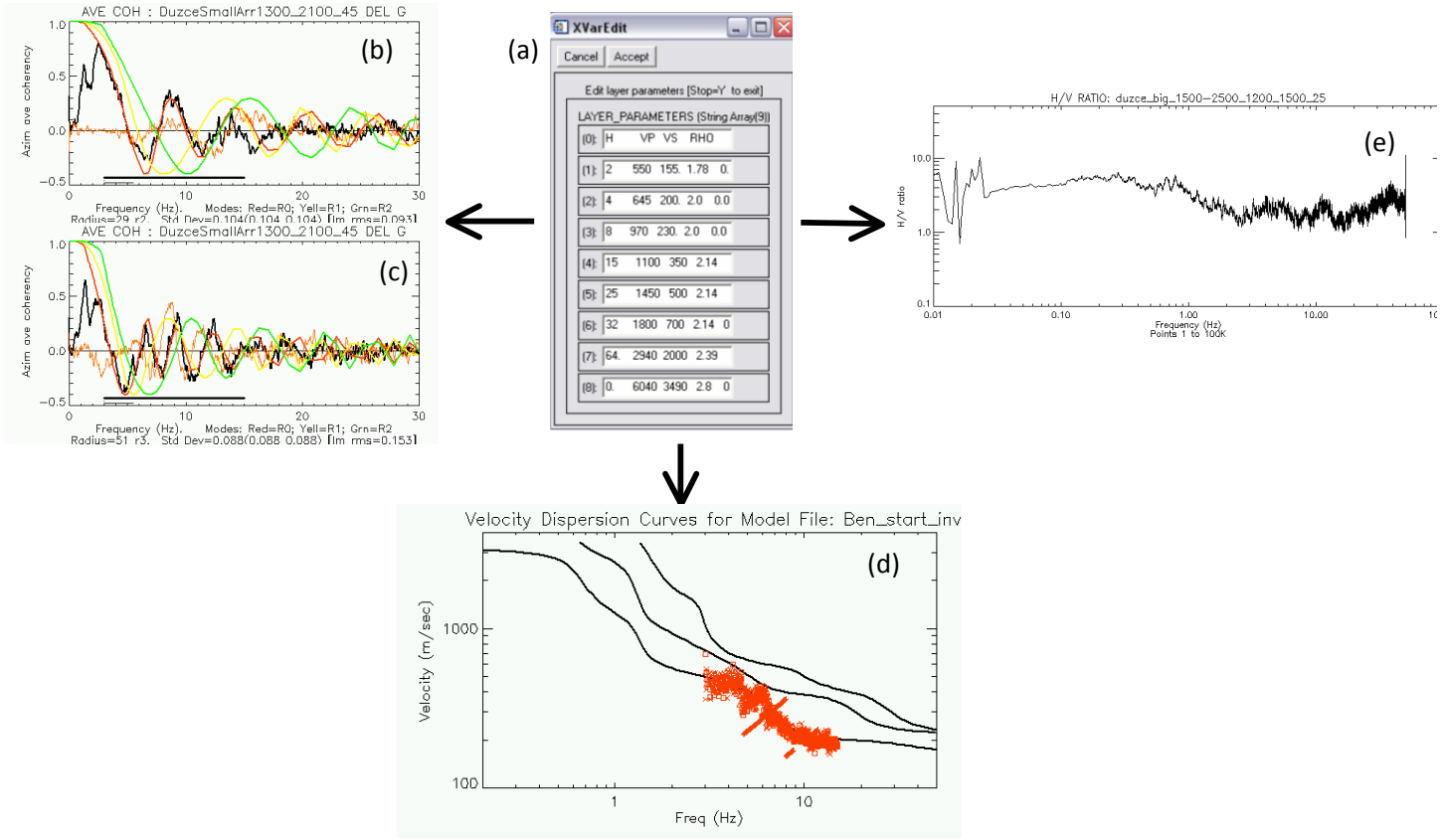
etkisini de göz önüne alarak, yalnızca temel modda yayılan Rayleigh dalgaları için değil, yüksek modlar için de doğru S-dalgası hız profilleri vermektedir (Asten, 2001).

Erzincan'da gerçekleştirilen tüm MMSPAC yöntemi uygulamalarında üçgen dizilimler kullanılmış ve uyumluluk hesaplamaları bu dizilimlere göre yapılmıştır. Elde edilen gözlemsel eğriler her bir dizilime ait Şekil 2'de gösterilen r1 (daire üzerindeki istasyon-merkez istasyon arası mesafe) ve r2 (daire üzerindeki iki istasyon arasındaki mesafe) uzaklıkları içindir. Bu dizilimde, r1 uzaklığı için merkezdeki istasyon ile üçgenin köşelerini oluşturan istasyonlar arasındaki uyum; r2 uzaklığı için ise üçgenin köşelerindeki istasyonlar arasındaki uyum göz önünde bulundurulmuştur.



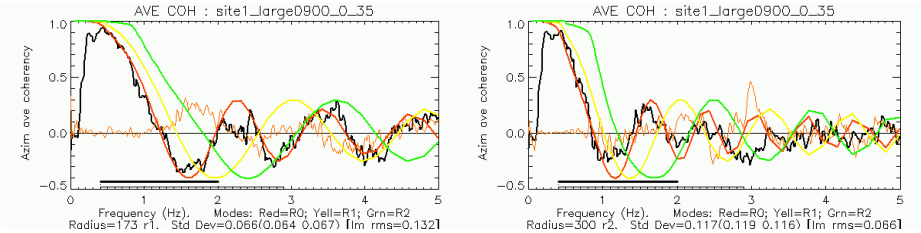
Şekil 2. MMSPAC yönteminde kullanılan üçgen dizilim krokisi

Ardından MMSPAC veri analizi için, Şekil 3'te belirtildiği gibi sırasıyla incelenen ortamın jeoloijisine uygun olarak düşünülen yaklaşık tabaka sayısı belirlenmiş ve buna bağlı olarak her tabakaya ait S-dalga hızı, P-dalga hızı, kalınlık ve yoğunluk değerleri belirlenerek tek boyutlu kuramsal bir başlangıç hız modeli oluşturulmuştur (Şekil 3(a)). Veri işleme ve ters çözüm algoritması (Asten, 2001) kullanılarak bu değerlere göre hesaplanan kuramsal uyumluluk eğrisi ile arazi verilerinden hesaplanan gözlemsel eğri çakışana kadar iterasyonlara devam edilmiştir (Şekil 3(b)). Uyumluluk eğrilerinde gösterilen siyah eğri bu istasyonundaki üçgen diziliminde r1 ve r2 uzaklıklarına ait gözlemlenmiş uyumluluğu ifade etmektedir. Kırmızı, sarı ve yeşil eğriler sırasıyla birinci, ikinci ve üçüncü moda ait kuramsal uyumluluk eğrilerini ifade etmektedir. Geleneksel SPAC yönteminden farklı olarak MMSPAC veri analizinde bir yandan da dispersiyon eğrileri kontrol edilerek iterasyonlara devam edilmektedir. Burada kırmızı noktalar gözlemsel verileri ve siyah eğriler ise farklı modlara ait kuramsal dispersiyon eğrilerini belirtmektedir (Şekil 3(c)). Daha sonra mikrotremor H/V oranı hesaplanmıştır (Şekil 3(d)).

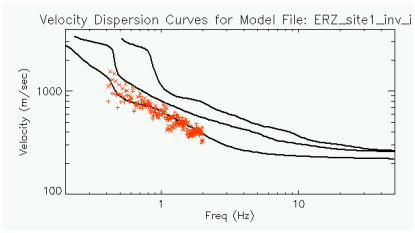


Şekil 3. MMSPAC yönteminde veri analizi

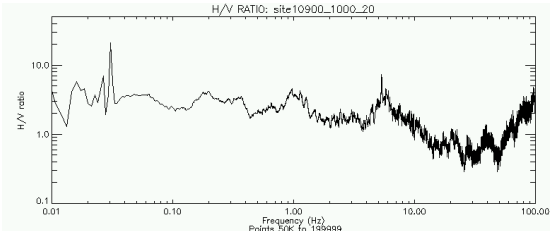
Erzincan ilinde seçilen ilk üç sahada gerçekleştirilen MMSPAC ölçümlerinden elde edilen sonuçlar Şekil 4-9 arasında gösterilmektedir. Bu şekillerde sırasıyla her istasyondaki uyumluluk eğrileri, dispersiyon eğrileri ve merkez istasyonda hesaplanan mikrotremor H/V oranları sunulmuştur. MMSPAC yöntemiyle her saha için hız profilleri ayrı ayrı hesaplanmıştır: örnek istasyonlara ait 30m, 100m ve 300m S-dalgası hız değerleri Tablo 1'de verilmiştir.



(a) (b)

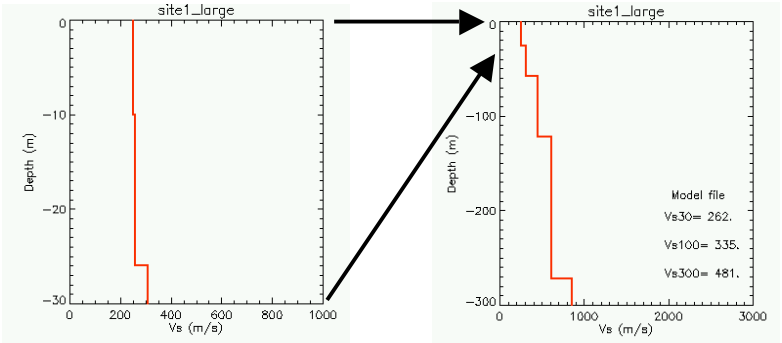


(c)



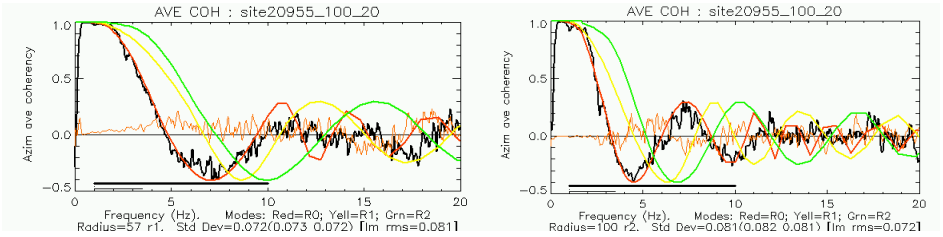
(d)

Şekil 4. Erzincan ilinde Saha 1'de yapılan MMSPAC çalışmalarına ait (a) ve (b) uyumluluk, (c) dispersiyon ve (d) H/V eğrileri

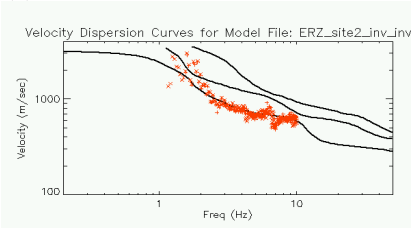


(a) (b)

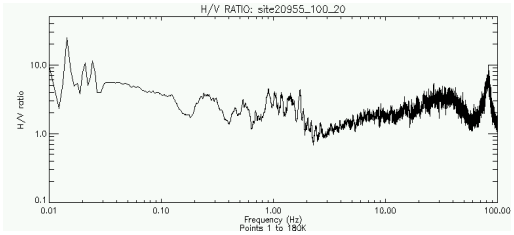
Şekil 5. Saha 1'de MMSPAC yöntemiyle elde edilmiş tek-boyutlu S-dalga hız modeli (a): İlk 30m'ye ait hız modeli, (b): 300m'ye ait hız modeli



(a) (b)

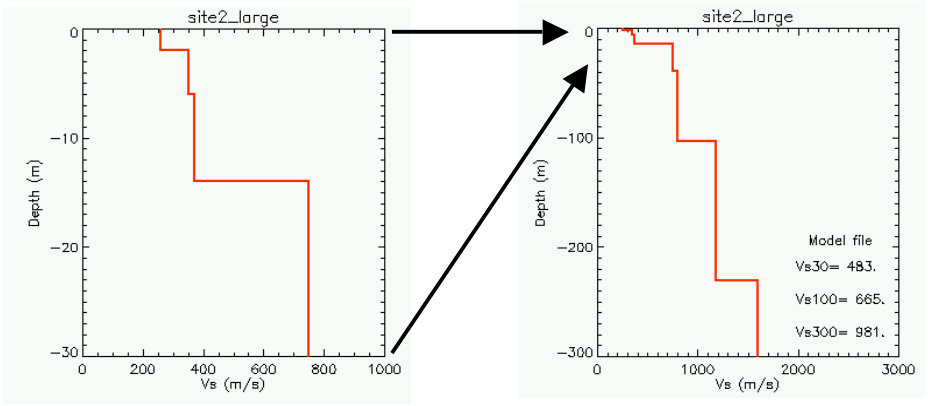


(c)



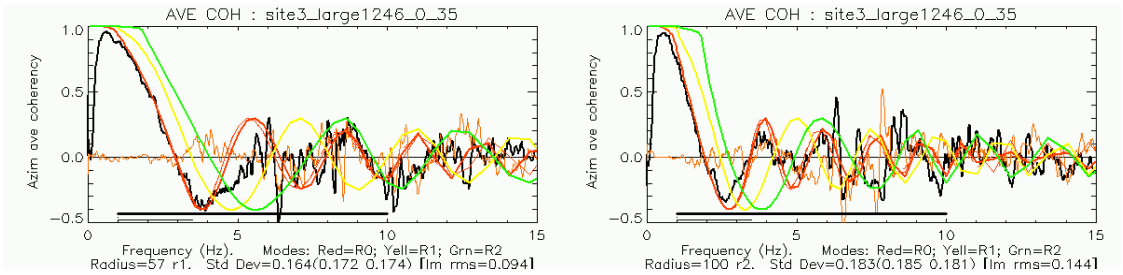
(d)

Şekil 6. Erzincan ilinde Saha 2'de yapılan MMSPAC çalışmalarına ait (a) ve (b) uyumluluk (c) dispersiyon ve (d) H/V eğrileri

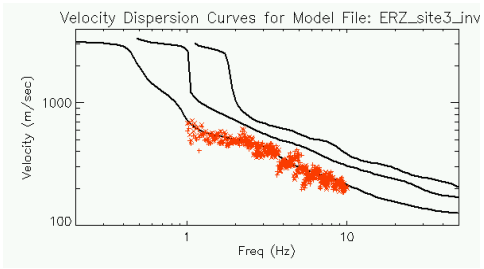


(a) (b)

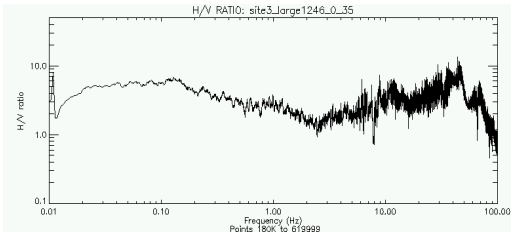
Şekil 7. Saha 2'de MMSPAC yöntemiyle elde edilmiş tek-boyutlu S-dalga hız modeli (a): İlk 30m'ye ait hız modeli, (b): 300m'ye ait hız modeli



(a) (b)

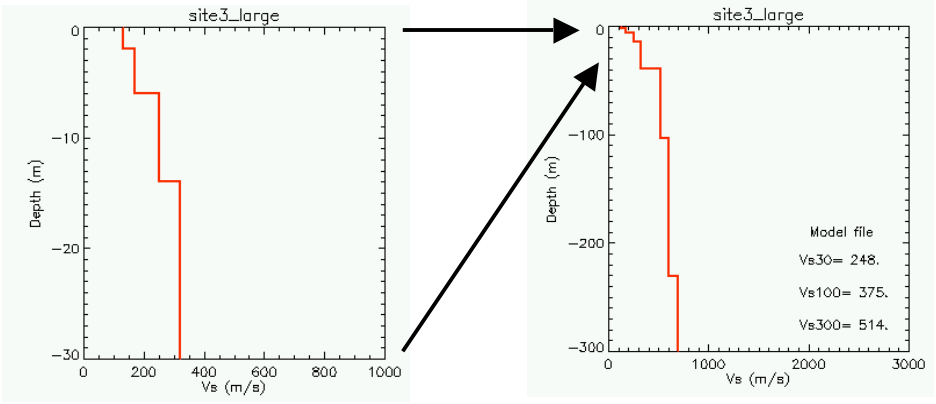


(c)



(d)

Şekil 8. Erzincan ilinde Saha 3'te yapılan MMSPAC çalışmalarına ait (a) ve (b) uyumluluk, (c) dispersiyon ve (d) H/V eğrileri



Şekil 9. Saha 3'de MMSPAC yöntemiyle elde edilmiş tek-boyutlu S-dalga hız modeli (a): İlk 30m'ye ait hız modeli, (b): 300m'ye ait hız modeli

Tablo 1: Seçilen sahalara ait Vs30, Vs100 ve Vs300 değerleri

Saha Kodu	Vs30 (m/sn^2)	Vs100(m/sn^2)	Vs300(m/sn^2)
Saha 1	262	335	481
Saha 2	483	665	981
Saha 3	248	375	514

3. DEĞERLENDİRMELER

Bu çalışmada, son yüzyılda iki tane yıkıcı deprem yaşamış Erzincan ilinde seçilen sahalarda zemin hız modelleri ve zemin hakim frekansları tayin edilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla, Erzincan'da tek boyutlu hız profilleri ve mikrotremor H/V oranları MMSPAC yöntemiyle belirlenmiştir. Erzincan baseninde Kuzey- Güney ve Doğu-Batı doğrultusunda 9 ayrı sahada elde edilen tek boyutlu hız profilleri kullanılarak Erzincan il merkezi için 2-Boyutlu bir hız modeli oluşturulmaya çalışılmıştır. Sonuçlara göre, Erzincan il merkezinde kuzey ve güneyinde, doğu ve batısında S-dalgası hız değerleri ve zemin hakim periyotları farklılıklar göstermektedir. Farklı istasyonlarda elde edilmiş olan hız profilleri basen yapısıyla örtüşmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, TUJJB-UDP-01-12 kodlu proje ile Türkiye Jeodeji ve Jeofizik Birliği (TUJJB) tarafından desteklenmektedir. Mikrotremor ölçümleri, AFAD'dan sağlanan ekipman ve uzman destekleri ile gerçekleştirilmiştir: AFAD Deprem Dairesi Başkanı Dr. Murat Nurlu ve ekibine bu lojistik destek için teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

Asten, M. (2001) The Spatial Auto-Correlation Method for Phase Velocity of Microseisms – Another Method for Characterization of Sedimentary Overburden: in Earthquake Codes in the Real World, Australian Earthquake Engineering Soc., Proceedings of the 2001 Conference, Canberra, Paper 28.

Asten, M., and D. Boore. (2005) Microtremor methods applied to hazard site zonation in the Santa Clara Valley, *Seismol. Res. Lett.*, 76, 257.

Asten, M. (2006) On bias and noise in passive seismic data from finite circular array data processed using SPAC methods, Geophysics, 71, V153– V162.

Chavez-Garcia, F. J., M. Rodriguez, and W. R. Stephenson. (2006) Subsoil structure using SPAC measurements along a line, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 96, 729–736.

Claprood, M. And Asten, M. (2009) Initial results from spatially averaged coherency, frequency-wavenumber, and horizontal to vertical spectrum ratio microtremor survey methods for site hazard study at Launceston, Exploration Geophysics, 40, 132–142

Rosenblad, B., Rathje, E. M. and K.H. Stokoe. (2006) Shear Wave Velocity Profiling by the SASW Method at Selected Strong-MotionStations in Turkey, Project Final Report, peer.berkeley.edu/lifelines/lifelines_pre_2006/.../2A02a-FR.pdf.